

МЕТОДИ БАГАТОЧАСТОТНОЇ ФАЗОВОЇ РЕФЛЕКТОМЕТРІЇ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Стаття присвячена дослідженню проходження гармонійних сигналів по довгій лінії за наявності в ній декількох навантажень із реактивним характером розташованих на різних відстанях. Отримані аналітичні співвідношення які дозволили побудувати амплітудно-частотні та фазочастотні характеристики сумарних відбитих сигналів за наявності навантажень з реактивним (ємнісним або індуктивним) характером.

Ключові слова: гармонійний сигнал, навантаження, реактивний характер.

V.R. LIUBCHYK; Y.V. NIKOLCHUK

Khmelnitsky National University, Ukraine

METHODS MULTI FREQUENCY PHASE REFLECTOMETRY CABLE COMMUNICATION LINES

Abstract - The article is devoted research of passing of harmonious signals on a long line at presence of in it multiple loadings with reactive character of located on different distances. Analytical correlations are got which allowed to build gainfrequency and phasefrequency descriptions of the total reflected signals at presence of loadings with reactive (by a capacity or inductive) character.

Keywords: harmonic signal, loading, reactive character.

Вступ

Нормальне функціонування лінії зв'язку як складового елементу тракту передавання сигналів можливо лише за дотримання умови її однорідності, тобто рівномірного розподілу параметрів по довжині. Порушення цієї умови зазвичай призводить до погіршення якості роботи каналу, а в крайньому випадку – до повного припинення його функціонування. Тому виявлення місць розташування неоднорідностей та подальше їх усунення є дуже актуальною практичною задачею.

Фазовий (безконтактний) метод пошуку пошкоджень. Метод заснований на тому, що фаза сигналу змінюється при проходженні місця дефекту, де струм витоку має резистивний характер. Фазовий метод застосовується для пошуку дефекту ізолюючих покриттів кабелю, включаючи оболонки кабельних ліній зв'язку. Цей метод може служити заміною контактному там, де застосування контактному методу з тих чи інших причин ускладнене (асфальтоване покриття, складний ґрунт і т.д.).

Основна частина

Для того щоб розробити метод виявлення пошкоджень фазочастотним методом розглянемо процес утворення сумарного відбитого сигналу. Розглянемо еквівалентну схему лінії електропередачі із трьома пошкодженнями (рис. 1).

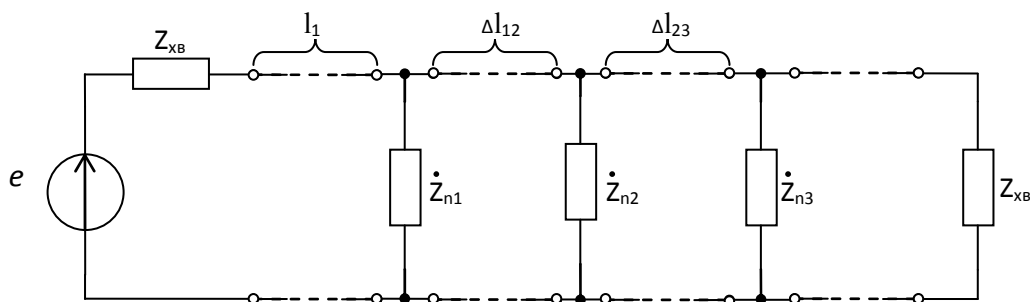


Рис. 1. Еквівалентна схема лінії електропередачі із трьома пошкодженнями

Підключено джерело гармонійних сигналів до початку відрізка еквівалентної схеми лінії електропередачі. Якщо з початку середовища розповсюдження генерувати гармонійний сигнал з довжиною хвилі рівній довжині відрізка L , то в цьому середовищі буде розповсюджуватись хвиля що біжить. Така хвиля буде досягати кожен об'єкт через різний час, причому об'єктів, що знаходяться ближче до початку відрізка, хвиля досягне раніше, ніж до об'єктів, що знаходяться далі. Перший об'єкт (ємність C) відбиває хвилю повністю, і зробимо припущення що далі сигнал проходить без втрат по амплітуді. На кінці лінії знаходиться неузгоджений з лінією опір, який також повністю відбиває сигнал.

Проходження сигналу до одного об'єкту і назад, подібне до проходження сигналів в довгій лінії. Сигнал починає поступово розповсюджуватись від початку відрізка, хвиля "біжить" до першого об'єкту з реактивним характером впливу. Хвиля відбивається від цього об'єкту і проходить далі. Припустимо, що далі сигнал проходить без втрат. Сигнал який відбився від першого об'єкта "біжить" назад до джерела сигналів. Між хвилею що падає і відбивається, в результаті проходження до об'єкта і назад, утворюється фазовий зсув який пропорційний подвійній відстані від початку відрізка до об'єкту і назад. І сам об'єкт спричиняє

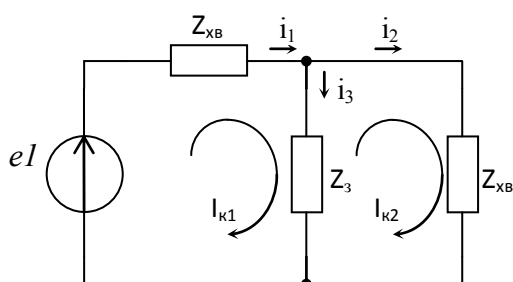


Рис. 2. Еквівалентна схема з неоднорідністю з реактивним характером

сигнали відбиті від об'єктів у векторному вигляді, то результатом складання сигналів є їх векторна сума. Таким чином сигнал що вертається на вхід приймача є результатом спільної дії усіх відбитих сигналів від усіх об'єктів.

Тому для початку розглянемо як веде себе сигнал при відбиванні та проходженні через об'єкт з реактивним характером. Розглянемо еквівалентну схему з неоднорідністю з реактивним характером (рис. 2).

Дослідження наведеної еквівалентної схеми дозволили отримати вирази для значень модуля та фази сигналів відбитих від неоднорідності:

$$I_{в1д} = - \frac{e}{Z_{xb}} \cdot \frac{Z_{xb} Z_R + 2(Z_R^2 + Z_1^2) + jZ_1 Z_{xb}}{Z_{xb}^2 + 4Z_{xb} Z_R + 4Z_R^2 + 4Z_1^2} \quad (1)$$

$$|I_{в1д}| = \frac{e}{Z_{xb}} \cdot \frac{\sqrt{Z_{xb} Z_R (Z_{xb} Z_R + 4Z_R^2 + 4Z_1^2) + Z_1^2 (3Z_R^2 + 4Z_1^2 + Z_{xb}^2) + 4Z_R^4}}{Z_{xb}^2 + 4Z_{xb} Z_R + 4Z_R^2 + 4Z_1^2} \quad (2)$$

$$\varphi_{в1д} = \arctg \frac{Z_{xb} Z_R + 2(Z_R^2 + Z_1^2)}{Z_1 Z_{xb}} \quad (3)$$

та сигнал, що проходить через неоднорідність далі в лінію:

$$I_{пр} = e \cdot \frac{Z_{xb} + 2Z_R - j2Z_1}{Z_{xb}^2 + 4Z_{xb} Z_R + 4Z_R^2 + 4Z_1^2} \quad (4)$$

$$|I_{пр}| = \frac{e}{\sqrt{Z_{xb}^2 + 4Z_{xb} Z_R + 4Z_R^2 + 4Z_1^2}} \quad (5)$$

$$\varphi_{пр} = \arctg \frac{2Z_1}{Z_{xb} + 2Z_R} \quad (6)$$

Виведемо формулу знаходження загального відбитого сигналу, який приходить з лінії $I_2(f\omega)$. Сумарний сигнал на початку лінії є сумою сигналів відбитих від кожної неоднорідності:

$$I_2(f\omega) = I_{н1}(f\omega) + I_{н2}(f\omega) + I_{н3}(f\omega) \quad (7)$$

де $I_{н1}(f\omega), I_{н2}(f\omega), I_{н3}(f\omega)$ - залежать від коефіцієнтів відбиття, коефіцієнтів проходження та відстаней.

$$\begin{cases} I_{н1}(f\omega) = I_0(f\omega) \cdot K_{в1д1} \cdot e^{-j(\varphi_{в1д1} - 2\varphi l_1)} \\ I_{н2}(f\omega) = I_0(f\omega) \cdot K_{пр1}^2 \cdot K_{в1д2} \cdot e^{-j(2\varphi_{пр1} + \varphi_{в1д2} + 2\varphi l_1 + 2\varphi \Delta l_{12})} \\ I_{н3}(f\omega) = I_0(f\omega) \cdot K_{пр1}^2 \cdot K_{пр2}^2 \cdot K_{в1д3} \cdot e^{-j(2\varphi_{пр1} + 2\varphi_{пр2} + \varphi_{в1д3} + 2\varphi l_1 + 2\varphi \Delta l_{12} + 2\varphi \Delta l_{23})} \end{cases} \quad (8)$$

де $I_0(f\omega)$ - сигнал, який подається у лінію; $K_{в1д1}, K_{в1д2}, K_{в1д3}$ - коефіцієнти відбиття від першої, другої та третьої неоднорідності; $K_{пр1}, K_{пр2}$ - коефіцієнти проходження через першу та другу неоднорідності; φl_1 - фазовий зсув в лінії, при проходженні сигналу до першої неоднорідності; $-\varphi \Delta l_{12}$ - фазовий зсув в лінії, при проходженні сигналу між першою та другою неоднорідностями; $\varphi \Delta l_{23}$ - фазовий зсув в лінії, при проходженні сигналу між другою та третьою неоднорідностями.

За допомогою формул Ейлера $e^{j\beta x} = \cos \beta x + j \sin \beta x$ та $e^{-j\beta x} = \cos \beta x - j \sin \beta x$

$$\begin{aligned} e^{-j(\varphi_{в1д1} + 2\varphi l_1)} &= \cos(\varphi_{в1д1} + 2\varphi l_1) - j \sin(\varphi_{в1д1} + 2\varphi l_1) \\ e^{-j(2\varphi_{пр1} + \varphi_{в1д2} + 2\varphi l_1 + 2\varphi \Delta l_{12})} &= \cos(2\varphi_{пр1} + \varphi_{в1д2} + 2\varphi l_1 + 2\varphi \Delta l_{12}) - j \sin(2\varphi_{пр1} + \varphi_{в1д2} + 2\varphi l_1 + 2\varphi \Delta l_{12}) \\ e^{-j(2\varphi_{пр1} - 2\varphi_{пр2} + \varphi_{в1д3} + 2\varphi l_1 + 2\varphi \Delta l_{12} + 2\varphi \Delta l_{23})} &= \cos(2\varphi_{пр1} + 2\varphi_{пр2} + \varphi_{в1д3} + 2\varphi l_1 + 2\varphi \Delta l_{12} + 2\varphi \Delta l_{23}) - \\ &\quad - j \sin(2\varphi_{пр1} + 2\varphi_{пр2} + \varphi_{в1д3} + 2\varphi l_1 + 2\varphi \Delta l_{12} + 2\varphi \Delta l_{23}) \end{aligned}$$

В результаті перетворень сумарний сигнал і модуль та фаза сумарного сигналу будуть мати наступний вигляд:

$$I_2(f\omega) = I_0(f\omega) \cdot (K_{в1д1} \cdot \cos \alpha + K_{пр1}^2 \cdot K_{в1д2} \cdot \cos \beta + K_{пр1}^2 \cdot K_{пр2}^2 \cdot K_{в1д3} \times \\ \times \cos \gamma) - j(K_{в1д1} \cdot \sin \alpha + K_{пр1}^2 \cdot K_{в1д2} \cdot \sin \beta + K_{пр1}^2 \cdot K_{пр2}^2 \cdot K_{в1д3} \cdot \sin \gamma) \quad (9)$$

$$|i_{\Sigma}(j\omega)| = i_0(\omega) \cdot \sqrt{\frac{K_{звд1}^2 + 2K_{звд1} \cdot K_{пр1}^2 (K_{звд2} \cdot \cos(\alpha - \beta) + K_{пр2}^2 \cdot K_{звд3} \cdot \cos(\alpha - \gamma)) + K_{пр1}^4 \cdot K_{звд2}^2 + K_{пр1}^4 \cdot K_{пр2}^2 \cdot K_{звд3} \cdot (2K_{звд2} \cos(\beta - \gamma) + K_{пр2}^2 \cdot K_{звд3})}{K_{звд1}^2 \cdot \sin^2 \alpha + K_{пр1}^2 \cdot K_{звд2} \cdot \sin \beta + K_{пр1}^2 \cdot K_{пр2}^2 \cdot K_{звд3} \cdot \sin \gamma}} \quad (10)$$

$$\varphi_{\Sigma}(\omega) = \arctg \frac{K_{звд1} \cdot \sin \alpha + K_{пр1}^2 \cdot K_{звд2} \cdot \sin \beta + K_{пр1}^2 \cdot K_{пр2}^2 \cdot K_{звд3} \cdot \sin \gamma}{K_{звд1} \cdot \cos \alpha + K_{пр1}^2 \cdot K_{звд2} \cdot \cos \beta + K_{пр1}^2 \cdot K_{пр2}^2 \cdot K_{звд3} \cdot \cos \gamma} \quad (11)$$

На рис. 3 та 4 представлені амплітудно-частотні та фазо-частотні характеристики.

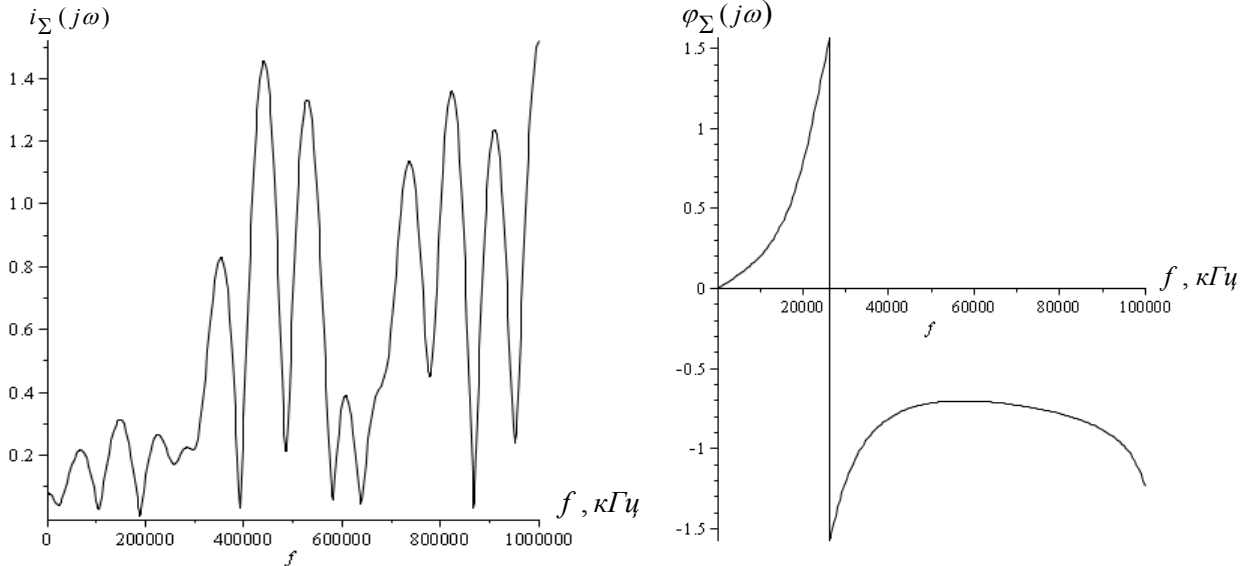


Рис. 3. Амплітудно-частотна та фазо-частотна характеристики загального відбитого сигналу від завад з реактивним характером представлені у вигляді ємностей

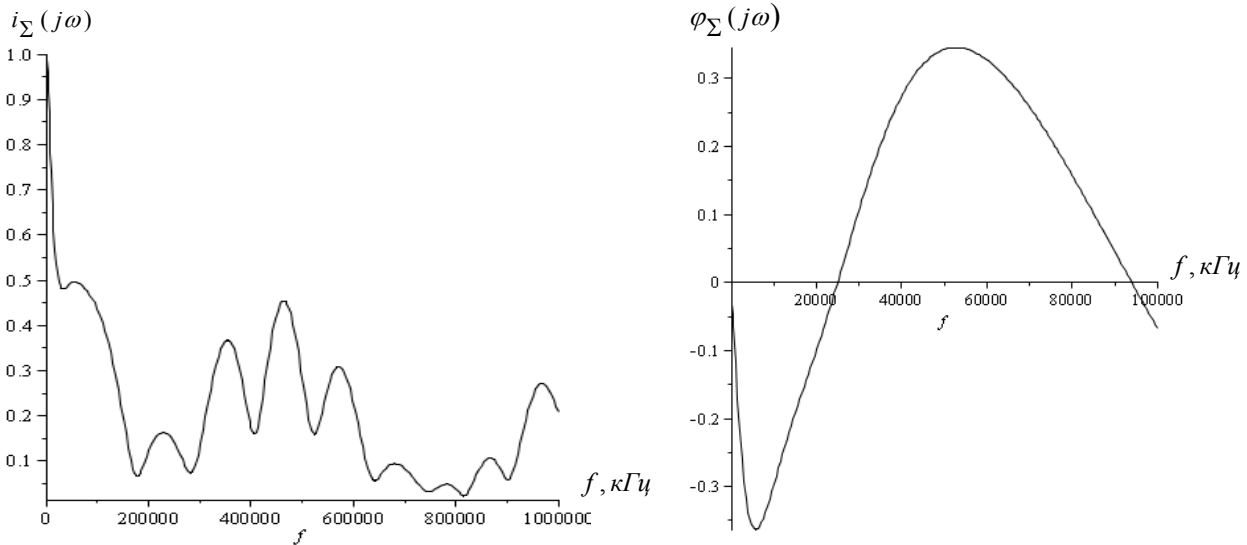


Рис. 4. Амплітудно-частотна та фазо-частотна характеристики загального відбитого сигналу від завад з реактивним характером представлені у вигляді індуктивностей

Висновок

При розгляді даного дослідження, ми бачимо з графіків, що при великих частотах вплив об'єктів з реактивним характером представленим ємностями збільшується, а при індуктивностях навпаки зменшується.

Тобто неоднорідності з реактивним характером впливу значно впливають на зондуєчий сигнал, який проходить через лінію зв'язку і повертається на приймач із затримкою. При знаходженні відстані між об'єктами виникає ускладнення: об'єкти з реактивним характером змінюють не лише амплітуду сигналу, але і фазовий зсув сигналу.

Література

1. Применение методов фазометрии для прецизионного измерения расстояний. / Баженов В.Г., Батуревич Е.К., Маевский С.М., Куц Ю.В. – К.: Вища школа, Изд-во при Киев. ун-те, 1983. – 84 с. Демьянов

В.Ф., Малоземов В.Н. Введение в минимакс. Москва, 1972. 368с.

2. Любчик В.Р. Розробка фазового методу вимірювання відстаней до двох об'єктів / В.Р. Любчик // Вісник ТУ Поділля. Технічні науки. – Ч.1. – Том 3. – 2004. – № 4. – С. 108-114.

3. Розробка аналітичного фазового методу вимірювання відстаней до трьох об'єктів. / Любчик В.Р., Сенчишина Ю.В., Параска Г.Б., Килимник О. М // Вісник ХНУ. – 2009. – № 2. – С. 146-151.

4. Основы фазометрии. Галахова О.П., Котик Е.Д., Кравченко С.А. Л. ; Энергия, 1976. - 256 с.

5. Сакара А.В. Организационные и методические рекомендации по проведению испытаний электрооборудования и аппаратов электроустановок потребителей – М.: ЗАО «Энергосервис», 2004. – 240 с

References

1. Bazhenov V.G., Baturevich E.K., Majewskiy S.M., Kuts Y.V. Application of methods to precisely measure the phase meter distances. Kyiv.: Graduate School, Publisher at Kiev University, 1983. - 84. Demyanov V.F., Malozemov V.N., Introduction to minimax. Moscow, 1972. 368.

2. Lubchik V.R. Development phase method of measuring distances of two objects. Visnyk TU Podilla. -Part 1. - Volume 3. 2004. Number 4. - P. 108-114.##

3. Lubchik V.R., Senchishina Y.V., Paraska G.B., Kilimnik O. M. Developing analytical phase method to measure distances of up to three objects. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. - 2009. - № 2. - P. 146-151. ##

4. Fundamentals of phase meters. Galakhova O.P., Kotick E.D., Kravchenko S.A., L., Energy, 1976. - 256.

5. Sakara A.V. Organizational and methodological recommendations for the testing of electrical machines and electrical installations – M.: ZAO "Energoservice", 2004. – 240.

Рецензія/Peer review : 10.5.2013 р.

Надрукована/Printed :20.6.2013 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Шинкарук О.М.